

PRAĆENJE DINAMIKE NAKUPLJANJA FOSFORA U ZRNU SAMOOPLODNIH LINIJA KUKURUZA

Anika Kovinčić¹, Vesna Dragičević¹, Ksenija Marković¹,
Jelena Srdić¹, Natalija Kravić¹

Izvod

Nedostatak mineralnih elemenata u hrani, može izazvati ozbiljne zdravstvene probleme. Kao jedan od tri najvažnija makroelementa u ishrani biljaka, fosfor učestvuje u nizu procesa u biljci: fotosintezi, disanju, sintezi skroba, transportu ugljenih hidrata i produkata fotosinteze, deobi ćelija i boljem korišćenju vode. Ciljevi ovog istraživanja su uključivali praćenje dinamike nakupljanja neorganskog fosfora (P_i) - prekursora u sintezi fitinske kiseline, i fitinskog fosfora (P_{phy}), tokom nalivanja zrna dve samooplodne linije kukuruza različitih FAO grupa zrenja - L217 i L773, i utvrđivanje povezanosti sadržaja fosfora u zrnu i agro-morfoloških performansi. Za analizu dinamike sadržaja neorganskog i fitinskog fosfora, uzorci zrna su uzimani: 15-tog, 30-tog, 45-tog i 60-tog dana nakon oplodnje. Na osnovu dobijenih rezultata, uočen je kontinuirani pad sadržaja neorganskog fosfora kod oba genotipa, a najintenzivniji pad utvrđen je u prvom intervalu (tj. 15-30 dana) nakon oplodnje, bivajući znatno izraženiji kod linije L217. Takođe, u odnosu na liniju L773, linija L217 je ostvarila viši prinos za 61,8 % u prvom, odnosno za 63,1 % u drugom setvenom roku, respektivno. Srazmerno smanjenju neorganskog fosfora, uočen je trend povećanja fitinskog fosfora kod oba genotipa tokom sva tri intervala merenja. Smanjena dinamika nakupljanja i niži sadržaj fitinskog fosfora (2,635 mg g⁻¹) u fazi fiziološke zrelosti, ukazuje da bi se inbred linija L217 mogla smatrati potencijalno poželjnim genotipom za selekciju niskofitinskih hibrida.

Ključne reči: neorganski fosfor, fitinski fosfor, prinos zrna, *Zea mays* L.

Uvod

U novije vreme, sve se više pažnje poklanja nutritivnoj vrednosti hrane. Mineralni elementi, među kojim su najvažniji fosfor (P), gvožđe (Fe), magnezijum (Mg) i cink (Zn), obavljaju različite funkcije u biljnim ćelijama, te su neophodni za normalan rast i razvoj biljaka, životinja i ljudi (White and Broadley,

2005; Menkir, 2008). Iako je postizanje visokog i stabilnog prinosa najvažniji i krajnji cilj svih programa savremenog oplemenjivanja biljaka (Malik, 2005), njegovo povećanje veoma često rezultira redukovanim sadržajem mineralnih elemenata u zrnu. Nedostatak ovih elemenata može se prevazići povećanjem sadržaja mineralnih nutritijenata u hrani primenom

Originalni naučni rad (Original Scientific Paper)

¹Kovinčić A, Dragičević V, Marković K, Srdić J, Kravić N, Institut za kukuruz "Zemun Polje", Slobodana Bajića 1, 11185 Zemun Polje

*e-mail: anisavic@mrizp.rs

različitih metoda, kao što su suplementacija ili fortifikacija hrane (Lönnerdal, 2003). Pod pojmom biofortifikacija podrazumeva se postupak povećanja koncentracije vitamina, provitamina, mikroelemenata u jestivim delovima gajenih biljnih vrsta, a postiže se metodama konvencionalnog oplemenjivanja ili genetičkim inženjeringom. S obzirom na činjenicu da predstavlja jedan od najekonomičnijih načina proizvodnje hrane obogaćane mikronutritijentima, programi biofortifikacije su veoma zastupljeni u nerazvijenim zemljama (Cakmak, 2008).

Fosfor se smatra jednim od tri najvažnija makroelementa u ishrani biljaka. U zemljištu, u organskom obliku, ima od 20-80 % fosfora, i to najviše u obliku fitinske kiseline (Richardson et al., 2011). Ostatak fosfora se nalazi u neorganskom obliku, predstavljenim sa oko 170 mineralnih oblika (Abdolzadeh et al., 2010). Fosfor učestvuje u nizu procesa u biljci: fotosintezi, disanju, hemijskim reakcijama (sinteza skroba, transport ugljenih hidrata i produkata fotosinteze), deobi ćelije i prenošenju naslednih osobina, kao i boljem korišćenju vode.

Fosfor u semenu se nalazi i u obliku neorganskog (P_i) i ćelijskog fosfora (ulaze u sastav ćelijskih membrana, DNK, RNK, itd.) (Raboy et al., 2001). Sadržaj fitata u zrnu žitarica je u visokoj korelaciji sa sadržajem ukupnog fosfora (Calvo and Uribarri, 2013). Generalno, fitati čine značajan deo suve mase semena velikog broja biljnih vrsta, i to između 50 % i 80 % ukupnog P (Lorenz et al., 2007). U zrnu kukuruza, oko 90 % fitata se akumulira u embrionu i oko 10% u aleuronskom sloju (Lott et al., 2009), dok se u endospermu nalazi samo u tragovima (Nadeem et al., 2011).

U semenu biljaka, 60-80 % ukupnog fosfora je fitinska kiselina (PA), koja sa mineralima gradi kompleksna jedinjenja

- fitate, i u tom obliku se nalazi u značajnoj količini u aleuronu, a neznatno u embrionu semena žitarica, igrajući važnu ulogu u razvoju i napretku samog semena (Gupta et al., 2015). Kod semena kukuruza, distribucija fitata je suprotna; uglavnom su zastupljeni u embrionu (Doria et al., 2009). Na globalnom nivou, seme kukuruza godišnje proizvede oko 4,8 miliona metričkih tona fitinske kiseline. Utvrđena je pozitivna uloga fitata u procesu klijanja i ranog razvika klijanaca, kao i antioksidativna (Raboy et al., 2000) i antikancerogena aktivnost (Vucenik and Shamsuddin, 2006), koje se ogledaju u zaštiti organizama od uticaja stresnih faktora.

Međutim, zbog formiranja kompleksa sa mineralnim elementima kao što su Fe, Zn, i Ca (Bohn et al., 2008) i blokiranja njihove apsorpcije, fitinska kiselina ima anti-nutritivnu vrednost. Naime, monogastrični organizmi ne mogu da vare fitate, tako da prisutan fosfor (oko 70%) i drugi minerali ostaju neiskorišćeni, i u krajnjoj liniji, dovode do eutrofikacije podzemnih voda (Bilyeu et al., 2008). Iz tog razloga, nameće se potreba za povećanjem sadržaja lako-pristupačnih formi fosfora, kao što je neorganski u odnosu na fitinski u semenu žitarica, čime bi se, paralelno, rešili nutritivni problemi i problem očuvanja životne sredine (Lorenc et al., 2008).

S obzirom da veći sadržaj mineralnih elemenata u semenu doprinosi poboljšanom vigoru klijanaca, a time i većem prinosu (Ficco et al., 2009), ciljevi ovog istraživanja su bili: (i) ispitivanje dinamike nakupljanja neorganskog fosfora (P_i), kao prekursora u sintezi fitinske kiseline, i fitinskog fosfora (P_{phy}) tokom naličavanja zrna, i (ii) utvrđivanje eventualne povezanosti sadržaja fosfora u zrnu i agromorfoloških performansi dve samooplodne linije kukuruza različitih grupa zrenja.

Materijal and metod

Biljni materijal - U istraživanju su korišćene dve samooplodne linije kukuruza različitih FAO grupa zrenja: samooplodna linija L217 (FAO grupa zrenja 400) i samooplodna linija L773 (FAO grupa zrenja 650).

Poljski ogledi laboratorijski eksperiment - Eksperiment je izveden u poljskim ogledima 2015. godine, u Zemun Polju (44°52's.g.š., 20°19'i.g.d., 81 m n.v.), na slabo karbonatnom černozeu sa 47% glinovite frakcije. Ogled je postavljen po kompletno randomiziranom blok dizajnu, u četiri ponavljanja. Svaki genotip je sejan u dva reda po ponavljanju, sa po 20 kućica u redu. Međuredno rastojanje je iznosilo 0,75 m, a rastojanje između kućica je iznosilo 0,20 m.

Uzorci zrna za laboratorijsku analizu su uzimani na svakih 15 dana od trenutka oplodnje: 15-tog; 30-tog; 45-tog i 60-tog dana po oplodnji, respektivno. Svaki ispitivani uzorak su činila četiri klipa po genotipu. Uzorci su korišćeni za analizu sadržaja neorganskog fosfora (P_i) i fitinskog fosfora (P_{phy}). Navedeni parametri su određeni nakon ekstrakcije sa 5 % trihlor-sirćetnom kiselinom. Fitinski fosfor je određen kolorimetrijski, na bazi smanjenja inteziteta ružičaste boje Wade-ovog reagensa, po metodi Latta i Eskina (1980), modifikovanoj po Dragičević i sar. (2011). Neorganski fosfor je takođe određen kolorimetrijski, po metodi Dragičević i sar. (2011).

Poljski ogled - U cilju praćenja agromorfoloških osobina, linije su sejane i 2016. godine. Eksperiment je podrazumevao dva vremenska roka setve (razlika u datumu setve je iznosila 10 dana), u četiri ponavljanja. Svaki genotip je sejan u po četiri reda, sa po 20 biljaka u redu. Međuredno rastojanje je iznosilo 0,75 m, dok je razmak između biljaka u redu iznosio 0,30 m. Primenjen je kompletno randomizirani blok dizajn. Nakon ručne berbe i sušenja do

14% vlage u zrnu, izračunat je prinos (g) po biljci. Komponente prinosa: dužina klipa (DK), prečnik klipa (PrK), prečnik koćanke (PrKoć), broj redova zrna gornjeg klipa (BRZ), broj zrna u redu (BZR), širina zrna (SZ), dužina zrna (DuZ) i debljina zrna (DebZ) su merene na 10 nasumično izabраниh klipova po genotipu, za oba roka setve i svako ponavljanje.

Statistička analiza - Analiza prinosa i komponenata prinosa je rađena u četiri ponavljanja ($n=4$), a rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost (\bar{x}) \pm standardna devijacija (SD). Za svaku osobinu utvrđena je značajnost razlika t -testom, na osnovu poređenja parova I i II roka setve unutar iste samooplodne linije.

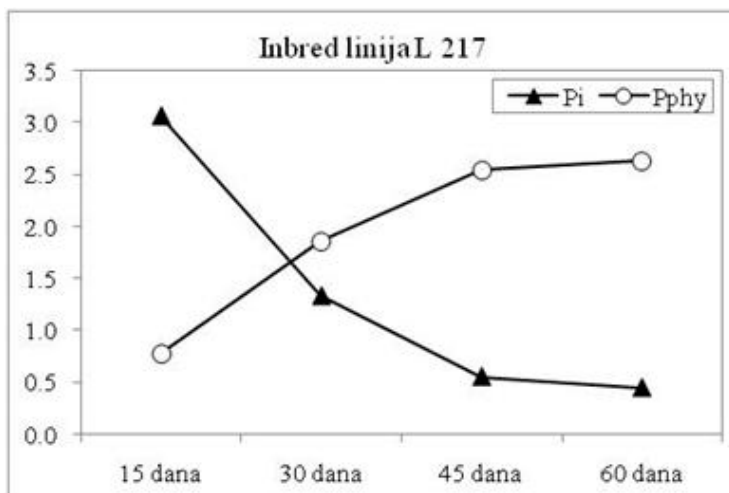
Rezultatii diskusija

Za postizanje optimalnog prinosa, prisustvo fosfora je neophodno već od najranijih faza razvića biljke (Grant et al., 2005). U semenu, fosfor se primarno deponuje u obliku fitinske kiseline (sin. fitat ili fitin), čiji sadržaj u zrnu žitarica i mahunarki varira od 0.5 % do 5 % (w/w) (Greiner and Egli, 2003). Zajedno sa drugim supstancama poput skroba i lipida, fitinska kiselina se brzo akumulira u semenu tokom faze zrenja. U semenu se javlja u obliku kompleksa soli kalijuma, magnezijuma, mangana, gvožđa i cinka.

U eksperimentu je praćena dinamika nakupljanja fosfora, kroz proces razlaganja neorganskog na račun sinteze fitinskog fosfora. Kod obe inbred linije, uočen je kontinuirani pad sadržaja P_i . Najintenzivniji pad je utvrđen u intervalu 15-30 dana nakon oplodnje (tj. *milk*-faza R3 i *dough* - faza R4), bivajući znatno izraženiji kod L217 (1,73 mg g⁻¹) u odnosu na L773 (1,15 mg g⁻¹), respektivno, (Grafik 1 i 2). U narednim intervalima, nastavlja se trend smanjenja sadržaja P_i , koji je kod linije L217 iznosio 0,78 mg g⁻¹ (za interval 30-45 nakon

oplodnje; *dent* - faza R5) i $0,11 \text{ mg g}^{-1}$ (za interval 45-60 dana nakon oplodnje, fiziološka zrelost - faza R6), respektivno. Kod linije

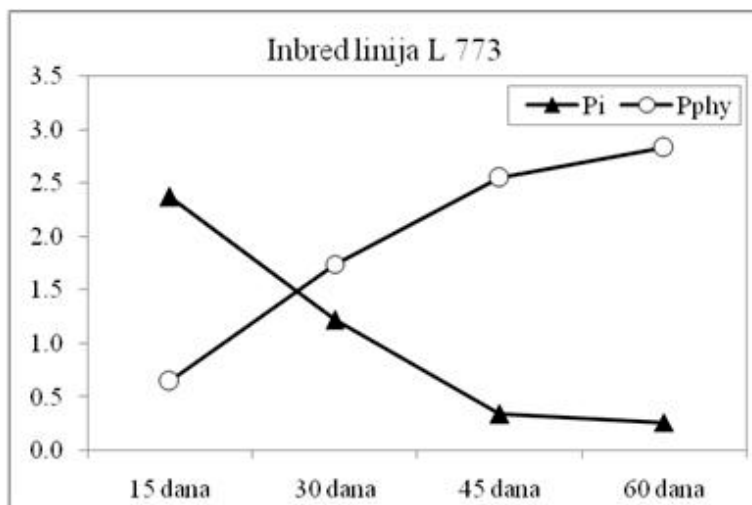
L773, smanjenje sadržaja P_i je iznosilo $0,88 \text{ mg g}^{-1}$ i $0,08 \text{ mg g}^{-1}$ za iste intervale, respektivno (Grafik 1 i 2).



Grafik 1. Dinamika sadržaja neorganskog (P_i) i fitinskog fosfora (P_{phy}) u zrnu samooplodne linije L217
 Figure 1. Dynamics of inorganic phosphorus (P_i) and phytic phosphorus (P_{phy}) contents in grain of maize inbred L217

Brojna ispitivanja na žitaricama i mahunarkama (Grant et al., 2005) ukazuju na visok stepen korelisanosti sadržaja neorganskog i fitinskog fosfora u zrnu ($r = -0,937$, $p \leq 0,001$), što je u skladu sa dobijenim rezultatima u ovom istraživanju. Analizirajući dinamiku nakupljanja fitinskog fosfora (Grafik 1 i 2), uočava se trend povećanja sadržaja P_{phy} kod oba genotipa, tokom sva tri posmatrana intervala sazrevanja zrna. Kod inbred linije L217, sadržaj P_{phy} u fazi fiziološke zrelosti zrna je iznosio $2,63 \text{ mg g}^{-1}$, što je bilo značajno

veće u odnosu na sadržaj izmeren u početnoj, *blister* - R2 fazi razvoja zrna (tj. $0,78 \text{ mg g}^{-1}$). Kod genotipa L773, sadržaj P_{phy} je iznosio $0,64 \text{ mg g}^{-1}$ u R2 fazi, odnosno $2,83 \text{ mg g}^{-1}$ u fazi fiziološke zrelosti, R6. Iako je u poslednjoj fazi sazrevanja zrna kod genotipa L217, sadržaj P_{phy} bio 3,4 puta veći nego u fazi R2, uočena je stagnacija u daljoj akumulaciji P_{phy} , što nije bio slučaj sa inbred linijom L773, kod koje je zabeležen dalji porast sadržaja fitinskog fosfora.



Grafik 2. Dinamika sadržaja neorganskog (P_i) i fitinskog fosfora (P_{phy}) u zrnu samoopodne linije L773
 Figure 2. Dynamics of inorganic phosphorus (P_i) and phytic phosphorus (P_{phy}) contents in grain of maize inbred L773

Biosinteza i nakupljanje fitinske kiseline (PA) otpočinju neposredno nakon cvetanja i traju do pune zrelosti semena. Koncentracija fitinske kiseline i fosfora u semenu određenih vrsta varira u zavisnosti od genotipa, plodnosti zemljišta i klimatskih uslova (Horvatic and Balint 1996; Grant et al., 2005). Ispitivanja vršena na inbred linijama i F1 hibridima kukuruza (Hidvegi and Lasztity, 2002), pokazuju da se koncentracija fitinske kiseline kreće u intervalu od 900,0 do 1020,0 mg 100g⁻¹ semena, što je u saglasnosti dobijenim rezultatima u ovom eksperimentu. Naime, kod linije L217, koncentracija PA je iznosila 935,6 mg 100g⁻¹, a kod L773 1005,0 mg 100g⁻¹, respektivno. S obzirom na utvrđenu smanjenu dinamiku nakupljanja i nižu vrednost sadržaja PA u fazi fiziološke zrelosti (interval 45-60 dana), inbred linija L217 bi se mogla koristiti

za selekciji hibrida sa nižim sadržajem fitina, kao poželjnom osobinom.

U savremenim programima oplemenjivanja, sve više je izražena tendencija postizanja visokog i stabilnog prinosa poboljšanog nutritivnog kvaliteta zrna (Six, 2011). Pod svojstvom prinosa podrazumeva se kompleksnost, povezanost i međuzavisnost različitih komponenata prinosa (Čamdžija i sar., 2012). Težina zrna, kao glavna komponenta prinosa, je u velikoj meri determinisana intenzitetom sinteze hranljivih materija (*source capacity*) i deponovanja asimilata u zrnu (*sink capacity*) (Jeng et al., 2006). Pored nivoa nakupljanja suve materije u zrnu (Nadeem et al., 2011), akumulacija fosfora tokom sazrevanja zrna u mnogome zavisi i od pozicije zrna na oklasku. Utvrđeno je da se zrno sa osnove klipa odlikuje većim

sadržajem P u poređenju sa zrnom iz sredine ili sa vrha klipa, zbog pravca protoka hranjivih materija od baze ka vrhu klipa (Nadeem et al., 2014).

Prethodna istraživanja su pokazala da veličina zrna kod kukuruza takođe utiče na nutritivni status u pogledu sadržaja mikro- i makronutrijenata, a time i na rast i sam prinos. Zrna sa osnove klipa, kao krupnija i sa većim sadržajem P, imaju potencijal da daju biljke

jačeg habitusa i višeg prinosa (Zhang et al., 2012).

Kako se stabilnost performansi genotipa ogleda u niskom stepenu variranja osobina u različitim uslovima spoljašnje sredine (Babić i sar., 2011), u ovom istraživanju izvršena je evaluacija agronomskih performansi *per se* inbred linija L217 i L773, praćenjem ostvarenog prinosa i komponenata prinosa u dva roka setve (Tabela 1.).

Tabela 1. Prinos i komponente prinosa ispitivanih samooplodnih linija kukuruza
Table 1. Yield and yield components in evaluated maize inbred lines

| | DK | PrK | PrKoč | BRZ | BZR | ŠZ | DuZ | DebZ | PRINOS |
|--------------------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------|---------------------|----------|-----------|-----------|
| Samooplodna linija L217 | | | | | | | | | |
| I setveni rok | | | | | | | | | |
| Prosek | 14,93 | 3,74 | 2,26 | 13,63 | 21,85 | 6,29 | 7,95 | 2,59 | 79,00 |
| SD | 0,37 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,37 | 0,47 | 0,13 | 0,12 | 3,93 |
| II setveni rok | | | | | | | | | |
| Prosek | 14,20 | 3,68 | 2,26 | 13,40 | 19,90 | 5,85 | 7,30 | 3,40 | 56,35 |
| SD | 0,24 | 0,17 | 0,10 | 0,25 | 0,50 | 0,21 | 0,48 | 0,41 | 1,95 |
| t-stat | 3,293* | 0,641 ^{nz} | 0,000 ^{nz} | 1,715 ^{nz} | 6,299*** | 1,703 ^{nz} | 2,600* | -3,767** | 10,325*** |
| Samooplodna linija L 773 | | | | | | | | | |
| I setveni rok | | | | | | | | | |
| Prosek | 10,99 | 3,64 | 2,34 | 17,10 | 22,01 | 4,00 | 6,70 | 1,58 | 30,20 |
| SD | 0,17 | 0,12 | 0,13 | 0,18 | 1,04 | 0,18 | 0,08 | 0,23 | 2,62 |
| II setveni rok | | | | | | | | | |
| Prosek | 10,08 | 3,61 | 2,32 | 16,18 | 16,02 | 4,54 | 6,04 | 2,68 | 20,78 |
| SD | 0,18 | 0,18 | 0,02 | 0,19 | 0,29 | 0,11 | 0,15 | 0,06 | 1,05 |
| t-stat | 7,362*** | 0,244 ^{nz} | 0,354 ^{nz} | 6,917*** | 11,084*** | -5,101** | 7,558*** | -9,183*** | 6,680*** |

DK - dužina klipa, (cm); PrK - prečnik klipa, (cm); PrKoč - prečnik koćanke, (cm); BRZ - broj redova zrna; BZR - broj zrna u redu; ŠZ - širina zrna (mm); DuZ - dužina zrna (mm); DebZ - debljina zrna (mm); prinos, (g biljka⁻¹);

*, **, *** - statistički značajno na nivou od 0,05, 0,01 i 0,001, respektivno; nz - nije statistički značajno

Kod obe linije, negativan efekat drugog roka setve je bio statistički najznačajniji za osobinu broja zrna u redu (6,299 za L217 i 11,084 za L773; $p \leq 0,001$) i prinos (10,325 za L217 i 6,680 za L773; $p \leq 0,001$), respektivno. U prvom roku setve, linija L217 je ostvarila prinos od 79,0 g biljka⁻¹, što je za 61,8% više od L773 (30,2 g biljka⁻¹). Isti trend je utvrđen i u drugom roku setve. Kako se radi o linijama različitih FAO grupa zrenja, dobijeni rezultati su u saglasnostima sa istraživanjima Čamdžije i sar. (2012). Variranje u prinosu u oba roka setve je zabeleženo i u okviru istog genotipa. Kod linije L217 je utvrđeno smanjenje prinosa za 28,7 %, odnosno za 31,2 % kod linije L773, respektivno, i u saglasnosti je istraživanjima Josepha et al. (2015).

Zaključak

U savremenim programima oplemenjivanja, sve više je izražena tendencija postizanja visokog i stabilnog prinosa poboljšanog nutritivnog kvaliteta zrna. S obzirom da je za postizanje optimalnog prinosa, prisustvo fosfora neophodno već od najranijih faza razvika biljke, u radu je praćena dinamika njegovog nakupljanja kroz proces razlaganja neorganskog na račun sinteze fitinskog fosfora. U sva tri intervala merenja tokom procesa sazrevanja zrna, kod obe samooplodne linije se uočava trend povećanja fitina srazmerno smanjenju neorganskog fosfora. Zbog formiranja kompleksa sa mineralnim elementima (Fe, Zn, Mg, Mn i Ca) i blokiranja njihove apsorpcije, fitin se smatra antinutritivom. Niža koncentracija fitinske kiseline u fazi fiziološke zrelosti (935,6 mg 100g⁻¹ semena), ukazuje da bi se linija L217 mogla koristiti za selekciji hibrida sa nižim sadržajem fitina, kao poželjnom osobinom.

Zahvalnica

Rad je rezultat dela istraživanja u okviru Projekta TR31068 "Poboljšanje svojstava kukuruza i soje molekularnim i konvencionalnom oplemenjivanjem", Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- Abdolzadeh A, Wang X, Veneklaas EJ, Lambers H (2010): Effect of phosphorus supply on growth, phosphate concentration and cluster root formation in three *Lupinus* species. *Ann Bot* 105 (3): 365-374.
- Babić M, Babić V, Delić N, Prodanović S, Anđelković V (2011): Poređenje parametara stabilnosti po Finlay-Wilkinson, Eberhart-Russell i AMMI modelu. *Selekcija i semenarstvo*, Vol XVII, br. 2: 35-40.
- Bilyeu, KD, P. Zeng, P Coello, ZJ Zhang, HB Krishnan, A Bailey, PR Beuselinck and JC Polacco (2008): Quantitative conversion of phytate to inorganic phosphorous in soybean seeds expressing a bacterial phytase. *Plant Physiol* 146 (2): 468-477.
- Bohn L, Mayer AS, Rasmussen SK (2008): Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for a molecular breeding. *J Zhejiang Univ Sci B* 9 (3): 165-191.
- Čakmak I (2008): Enrichment of cereal grains with zinc agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil* 302: 1-17.
- Calvo MS and J Uribarri (2013): Contributions to total phosphorus intake: all sources considered. *Semin Dial* 26: 54-61.
- Čamdžija Z, Filipović M, Stevanović M, Mladenović Drinić S, Vančetočić J, Babić M, (2012): Prinos i komponente

- prinosu komercijalnih ZP hibrida kukuruza različitih grupa zrenja. *Selekcija i semenarstvo* 18 (1): 41-48.
- Doria E, Galleschi L, Calucci L, Pinzino C, Pili R, Cassani E, Nielsen E (2009): Phytic acid prevents oxidative stress in seeds: evidence from a maize (*Zea mays* L.) low phytic acid mutant. *J Exp Bot* 60 (3): 967-978.
- Dragičević V, Sredojević S, Perić V, Nišavić A, Srebrić M (2011): Validation study of a rapid colorimetric method for the determination of phytic acid and inorganic phosphorus from grains. *Acta Per Tech* 42: 11-21.
- Ficco, DBM., C Riefolo, G Nicastro, V De Simone, AM Di Gesu, R Beleggia, C Platani, L Cattivelli, P De Vita (2009): Phytate and mineral elements concentration in a collection of Italian durum wheat cultivars. *Field Crop Res* 111: 235-242.
- Grant, C, Bittman S, Montreal M, Planchette C, Morel C (2005): Soil and fertilizer phosphorus: effects on plant P supply and mycorrhizal development. *Can J Plant Sci* 85: 3-14.
- Greiner R and I Egli (2003): Determination of the activity of acidic phytate-degrading enzymes in cereal seeds. *J Agric Food Chem* 51: 847-850.
- Gupta RK, Gangoliya SS, Singh NK (2015): Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *J Food Sci Technol* 52 (2): 676-684.
- Hidvegi M and Lasztity R (2002): Phytic acid content of cereals and legumes and interaction with proteins. *Period Polytech Chem Eng* 46: 59-64.
- Horvatic M and L Balint (1996): Relationship among the phytic acid and protein content during maize grain maturation. *J Agron Crop Sci* 176: 73-77.
- Jeng TL, Tseng TH, Wang CS, Chen CL, Sung JM (2006): Yield and grain uniformity in contrasting rice genotypes suitable for different growth environments. *Field Crop Res* 99: 59-66.
- Joseph TM, Terkimbi V, James OO (2015): The Influence of Sowing Dates on the Growth and Yield of Two Maize (*Zea mays* L.) Varieties Cultivated under Southern Guinea Savannah Agro-Ecological Zone. *Am J Exp Agr* 5 (3): 200-208.
- Latta M and Eskin M (1980): A simple and rapid colorimetric method for phytine determination. *J. Agric Food Chem* 28: 1308-1311.
- Lorenz AJ, Scott MP, Lainkey KR (2007): Quantitative determination of phytate and inorganic phosphorus for maize breeding. *Crop Sci* 47: 600-606.
- Lott JNA, Bojarski M, Kolasa J, Batten GD, Campbell LC (2009): A review of the phosphorus content of dry cereal and legume crops of the world. *Int J Agric Resour Govern Eco* 8: 351-370.
- Malik, HN, Malik SI, Hussain M, Chughtai SR, Javed HI (2005): Genetic correlation among various quantitative characters in maize (*Zea mays* L.) hybrids. *J Agri Soc Sci*: 262-265.
- Menkir A (2008): Genetic variation for grain mineral content in tropical-adapted maize inbred lines. *Food Chem* 110: 454-464.
- Nadeem M, Mollier A, Morel C, Vives A, Prud'homme L, Pellerin S (2011): Relative contribution of seed phosphorus reserves and exogenous phosphorus uptake to maize (*Zea mays* L.) nutrition during early growth stages.

- Plant Soil 346: 231-244.
- Nadeem M, Mollier A, Vives A, Prud'homme L, Nillet S, Pellerin S (2014): Effect of phosphorus nutrition and grain position within maize cob on grain phosphorus accumulation. *Span J Agric Res* 12 (2): 486-491.
- Six J (2011): Plant nutrition for sustainable development and global health. *Plant Soil* 339: 1-2.
- Raboy V, Gerbasi PF, Young KA, Stoneberg SD, Pickett SG, Bauman AT, Murthy PPN, Sheridan WF, Ertl DS (2000): Origin and seed phenotype of maize low phytic acid 1-1 and low phytic acid 2-1. *Plant Physiol* 124: 355-368.
- Raboy V, Young KA, Dorsch JA, Cook A (2001): Genetics and breeding of seed phosphorus and phytic acid. *J Plant Physiol* 158: 489-497.
- Richardson AE, Lynch JP, Ryan PR, Delhaize E, Smith FA (2011): Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant Soil* 349 (1-2):121-156.
- Vucenik I, Shamsuddin AM (2006): Protection against cancer by dietary IP6 and inositol. *Nutr Cancer* 55: 109-125.
- White PJ, Broadley MR (2005): Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends Plant Sci* 10: 586-593.
- Zhang Y, Zhang Y, Liu N, Su D, Xue Q, Stewart BA, Wang Z (2012): Effect of source-sink manipulation on accumulation of micronutrients and protein in wheat grains. *J Plant Nutr Soil Sci* 175: 622-629.

DYNAMICS OF PHOSPHORUS ACCUMULATION IN MAIZE INBRED LINES GRAIN

Anika Kovinčić, Vesna Dragičević, Ksenija Marković, Jelena Srđić, Natalija Kravić

Summary

Mineral elements deficiency in food can cause serious health problems. Being one of the three most important macroelements for plant nutrition, phosphorus is involved in several key processes: photosynthesis, respiration, synthesis of starch, transport of carbohydrates and products of photosynthesis, cell division and increased water utilization. The objective of this study was to estimate the dynamics of inorganic phosphorus (P_i), as a precursor in the synthesis of phytic acid, and phytic phosphorus (P_{phy}) accumulation during the grain filling of two maize inbred lines differing in FAO maturity groups - L217 and L773. In addition, possible linkage between phosphorus content in grain and agro-morphological performances was observed. For the analysis of the dynamics in P_i and P_{phy} contents, seed samples were taken at 15th, 30th, 45th and 60th day after the pollination. The obtained results showed a continuous decline of P_i content in both genotypes, with the most intensive decline observed at the first interval (e.i. 15-30 days) after the pollination. The trend observed was much more pronounced in L217. Moreover, this inbred achieved higher grain yield for 61.8 % at first sowing and for 63.1 % at 10-day delayed sowing, respectively, compared to inbred L773. In all three intervals observed, the decrease of P_i content was highly correlated with P_{phy} content increase for both genotypes. Based on lower accumulation rate, followed by lower P_{phy} content (2.635 mg g⁻¹) during the stage of physiological maturity, it could be concluded that inbred L217 could be considered as potentially suitable genotype for low-phytic hybrid selection.

Key words: grain yield, inorganic phosphorus, phytic phosphorus, *Zea mays* L.

Primljen: 6.11.2016.

Prihvaćen: 7.12.2016.